



# **MONIROOTTORISEN TOLPPATUULIVOIMALAN SÄHKÖTEKNINEN SUUNNITTELU**

Mika Haveri

Opinnäytetyö  
Kesäkuu 2013  
Sähkötekniikan koulutusohjelma  
Sähkövoimatekniikan suuntautumisvaihtoehto  
Tampereen ammattikorkeakoulu

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Sähkötekniikan koulutusohjelma  
Sähkövoimatekniikan suuntautumisvaihtoehto

HAVERI, MIKA: Moniroottorisen tolppatuulivoimalan sähkötekkinen suunnittelu

Työn ohjaaja: Lauri Hietalahti  
Työn tilaaja: Markku Oikarainen / TAMK T&K- ja innovaatiopalvelut  
Opinnäytetyö 29 s., liitteet 6 s.  
Kesäkuu 2013

---

Työn tarkoituksena oli tehdä sähkösuunnitelma Tampereen ammattikorkeakoulun vuonna 2010 aloitetun Tolppatuulivoimala-projektin yhteydessä ideoitavalle uuden tyyppiselle tuulivoimalalle. Työssä käsitellään eri vaihtoehtoja tolppatuulivoimalan kytkennöistä ja laitevalinnoista.

Vuosituotantolaskelmat ja laitteiston kustannukset ovat tärkeässä asemassa laitteistoja valittaessa. Tasapainottelu näiden kahden välillä parhaaseen mahdolliseen lopputulokseen pääsemisessä ei ole ongelmattonta.

Vuoreksen uudelle asuinalueelle Tampereella on suunnitteilla tuulivoimaa. Työssä käsitellään alueelle valitus 10 kW:n voimalan korvaamista yhdellä tolppatuulivoimalalla.

EU on asettanut Suomelle tavoitteita sähkön tuottamiseen uusiutuvilla energialähteillä. Päästöjen pienentämiseksi on suosittava mm. tuulivoimaa, vaikka se ei Suomessa huonojen tuuliolosuhteiden vuoksi nousisikaan merkittävään osaan. Hajautettu pientuotanto lähellä energian käyttöpaikkaa auttaa osaltaan pienentämään hiilidioksidipäästöjä.

---

Asiasanat: tuulienergia, tuulivoimalat, uusiutuvat energialähteet, pientuotanto, sähkösuunnittelu

## ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Degree program in Electrical Engineering  
Option of Electrical Power Engineering

HAVERI, MIKA: The electric layout of small-scale multi-rotor wind power plant

Thesis supervisor: Lauri Hietalahti  
Co-operating person: Markku Oikarainen / TAMK R&D and Innovation Services  
Bachelor's thesis 29 pages, appendices 6 pages  
June 2013

---

The purpose of this thesis was to design an electric layout for Tampere University of Applied Sciences wind power project. The purpose of the project was to design and get ideas for an new kind of small-scale wind power plant. This thesis examines different choices for the wind turbine wiring and equipment choices.

The calculation for the annual rate of return and hardware costs is important in the selection of equipment. Balancing between these two to get the best possible outcome is not without problems.

Wind power plants are planned for the new neighborhood of Vuores in Tampere. This thesis examines the possibilities to replace the selected 10kW wind power plant with this new kind of solution.

The EU has set goals for Finland to increase the production of electricity with renewable energy sources. To reduce pollution it is recommended to favor wind power among other things, although it would not get a very significant part because of Finland's bad wind conditions. The decentralized production of electricity close to the point of use helps to control the formation of carbon dioxide emissions.

---

Key words: wind power, renewable energy, small-scale production, electrical design

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	TUULIVOIMA .....	7
2.1	Tuuli ja tuulivoima .....	7
2.2	Tuulivoima Suomessa .....	7
2.3	Tuulivoimala .....	10
3	TOLPPATUULIVOIMALA.....	12
4	GENERAATTORIT JA TEHONSYÖTTÖLAITTEET .....	14
4.1	Kytkenät .....	14
4.2	Generaattorit .....	15
4.3	Tasasuuntaaja .....	17
4.4	Verkkoinvertteri .....	17
5	LASKENNALLINEN VUOSITUOTANTO.....	18
5.1	Perustiedot ja Weibull-jakauma .....	18
5.2	Vuosituotanto .....	20
6	KUSTANNUKSET.....	22
7	POHDINTOJA LAITAVALINNOISTA.....	23
8	VERKKOON LIITTÄMINEN JA SUOJAUKSET.....	24
9	KÄYTTÖ GSM-LINKKIMASTON VARAVOIMALÄHTEENÄ.....	26
10	LOPPUPÄÄTELMÄT .....	27
	LÄHTEET.....	28
	LIITTEET .....	30
	LIITE 1: Vuosituotantolaskelma: WindSpot 1,5kW .....	30
	LIITE 2: Vuosituotantolaskelma: Ilmari 10kW .....	31
	LIITE 3: WindSpot 1,5 kW –datalehti .....	32
	LIITE 4: Power-One PVI-400 Wind Interface.....	33
	LIITE 5: Power-One Aurora PVI-3.6-TL-OUTD-W.....	34

LIITE 6: Vuosituotantolaskelma: WindSpot 3,5 kW .....	35
---	----

# 1 JOHDANTO

Opinnäytetyö sai alkunsa Tampereen Ammattikorkeakoulun Tolppatuulivoimala-projektissa. Projektissa oli tarkoituksena suunnitella ja ideoida uuden tyyppistä tuulivoimalaa. Projektiin osallistui opiskelijoita sähkö-, rakennus- ja konetekniikan koulutusohjelmista.

Tämä opinnäytetyö on jatkoa projektille ja se pyrkii selvittämään tuulivoimalan sähkötekniisiä ratkaisuja ja laitevalintoja. Projekti on vielä teoriavaiheessa eikä prototyypin rakentaminen ole vielä ajankohtaista.

Eräs työn osa-alue on tutkia mahdollisuuksia korvata Tampereelle rakennettavaan Vuoreksen uudelle asuinalueelle suunniteltuja tuulivoimaloita tolppatuulivoimalalla. Aluetta varten on tehty selvitys, jossa on tehty tuulimittauksia eri pakoissa ja niiden perusteella on valittu sopivat paikat tuulivoimaloille. Vuoreksen toteutus on vasta selvitysvaiheessa ja mahdollinen toteutus on vielä kaukana aloittamisesta.

Tolppatuulivoimalan suunnitleminen on ollut haastavaa sillä siinä on pitänyt ottaa huomioon tuotantoarvioiden lisäksi myös hintakysymykset ja tasapainotella niiden välillä. Parhaiten tuottava ei ole välttämättä aina paras mahdollinen kustannusten kannalta.

Haluan kiittää Markku Oikaraista, jolta sain joiltakin osin erittäin haastavan aiheen opinnäytetyölleni. Lisäksi haluan kiittää Esa Eklundia Kodin vihreä energia Oy:stä, häneltä sain voimaloiden ja muiden komponenttien hintatietoja. Lopuksi erityiskiitos Erkki Haapaselle Tuulitaito Oy:stä, auttoi erittäin hankalaksi osoittautuneissa voimaloiden laskennallisissa vuosituotantolaskelmissa.

Parkanossa 2.6.2013

Mika Haveri

## **2 TUULIVOIMA**

### **2.1 Tuuli ja tuulivoima**

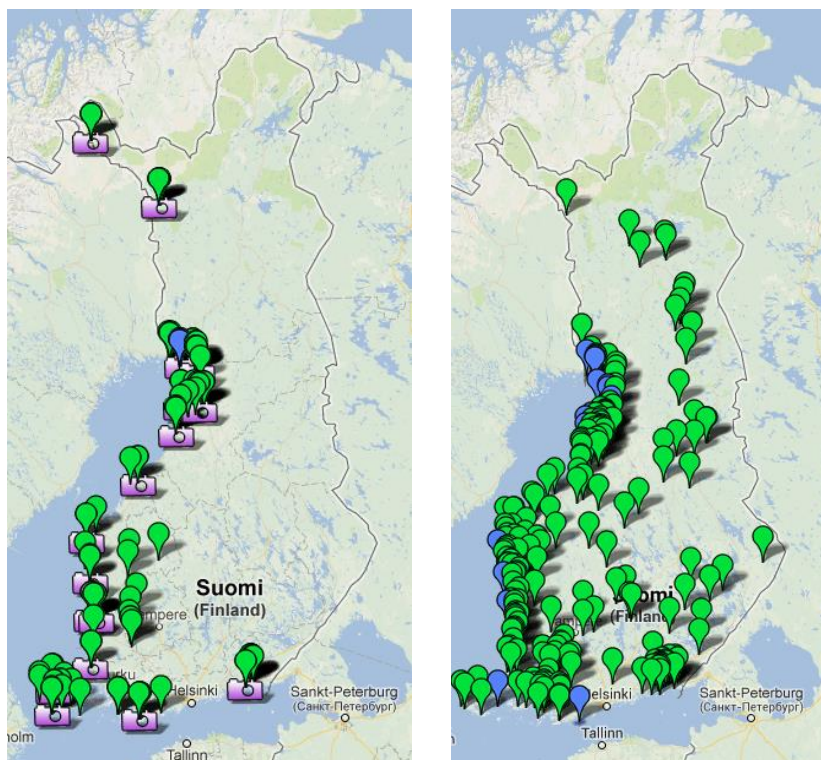
Tuuli on ilmakehässä liikkuva maanpinnan suuntainen ilmavirtaus, joka on peräisin auringon säteilyenergiasta. Maapallolle tulevasta auringon energiasta tuuleksi muuttuu noin 1-3 %. (Suomen Tuuliatlas)

Tuulivoima on tuulen liike-energian muuntamista tuuliturbiineilla sähköksi. Tuulivoima on uusiutuvaa energiaa.

Maailmanlaajuisesti tuulivoiman kapasiteetti vuoden 2012 lopussa oli 282,5 GW ja Euroopan Unionin alueella 106 GW (Global Wind Report, s. 8). Vuonna 2010 maailman sähköntuotannosta tuulivoimalla tuotettiin noin 2,5% (World Wind Energy Report 2010, s. 5). Suomessa tuulivoiman osuus koko energiantuotannosta on alle 1%. Suurimpia tuulivoiman tuottajamaita ovat Tanska (20%), Espanja (9%) ja Saksa (7%). (Suomen Tuulivoimayhdistys).

### **2.2 Tuulivoima Suomessa**

Vuoden 2012 lopussa Suomessa oli 163 teollista tuulivoimalaa, joiden yhteenlaskettu teho on 288 MW. (Suomen Tuulivoimayhdistys). Kuvassa 1 on vuoden 2012 lopun tilanne sekä työn alla olevat projektit.

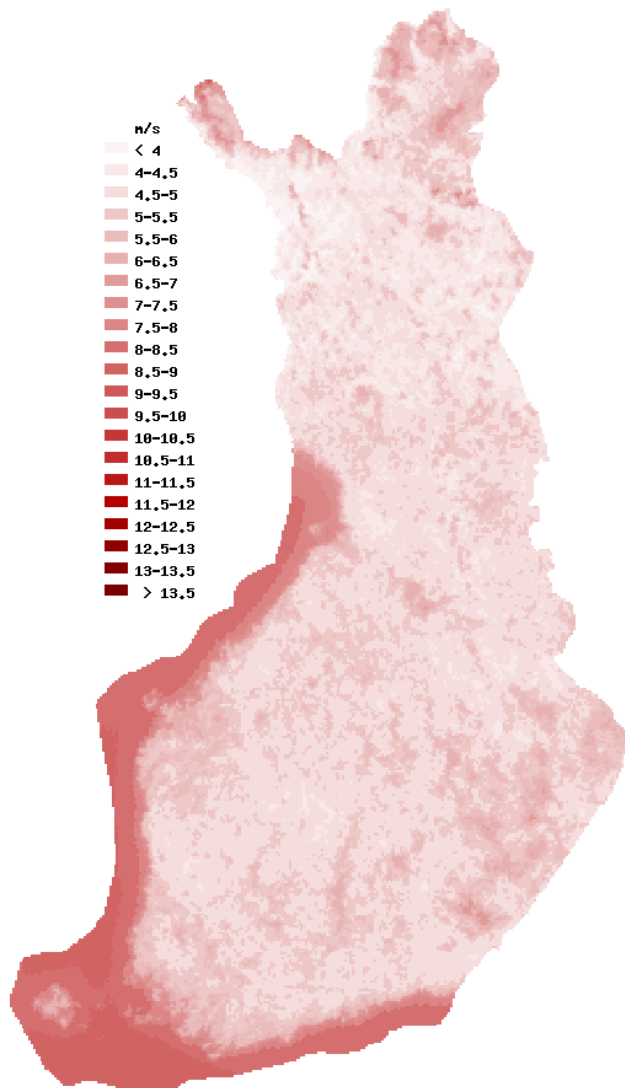


KUVA 1: Tuulivoimalat Suomessa vuoden 2012 lopussa (vas.) ja lokakuuhun 2012 mennessä julkaistut tuulivoimahankkeet (oik.) (Suomen Tuulivoimayhdistys)

Suomen ilmastolle on tyypillistä tuulen nopeuden selvät vaihtelut vuodenajoittain meri-alueilla, rannikolla ja tuntureilla. Sisämaassa tuulen kuukausittainen keskinopeus vaihtelee varsin vähän. Sisämaassa tuulen keskinopeus on selvästi pienempi kuin rannikolla. (Suomen Tuuliatlas).

Suomen tuuliolosuhteet ovat heikkommat kuin esim. Tanskassa ja Saksassa, missä tuulen keskinopeus on 7 – 9 m/s, kun Suomessa keskinopeus on alle 5 m/s. (Suomen Tuuliatlas. Tuulisuus Suomessa) Suomessa on kuitenkin tuulivoimalle sopivia paikkoja, vaikka tuotanto jää Keski-Eurooppaa alhaisemmaksi. Tuulen nopeus on Suomessa merialueilla 7 – 8 m/s, rannikolla ja saaristossa 6 – 7,5 m/s, tuntureilla 7 – 9 m/s ja sisämaassa 4,5 – 5,5 m/s. (Suomen Tuuliatlas. Tuulen keskinopeuskartat). Kuvassa 2 on tuulen aritmeettinen keskinopeus. Ne on laskettu ennusteista, jotka AROME-sääennustusmalli on tuottanut kolmen tunnin välein. Kartassa tuuliarvot on esitetty 2,5 x 2,5 neliökilometrin tarkkuudella.





**Kuva 2:** Suomen koko vuoden tuulen keskinopeudet (Suomen Tuuliatlas. Tuulen keskinopeuskartat)

Euroopan Komissio on asettanut Suomelle tavoitteen korvata sähkön tuotantoa uusiutuvilla energianlähteillä. Nykyään Suomi tuottaa kaikesta sähköstään 28 % uusiutuvilla energianlähteillä, tavoitteen mukaan sähköstä on tällä tavoin tuotettava 38 % vuoteen 2020 mennessä. Valtioneuvosto hyväksyi 6.11.2008 maallemme uuden, kunnianhimoisen ilmasto- ja energiastrategian, joka käsittelee ilmasto- ja energiapoliittisia toimenpiteitä varsin yksityiskohtaisesti vuoteen 2020 ja yleisemmin aina vuoteen 2050 asti. Ilmasto- ja energiastrategian mukaan Suomeen tulee rakentaa vuoteen 2020 mennessä noin 2 000 MW tuulivoimaa. (Suomen Merituuli)

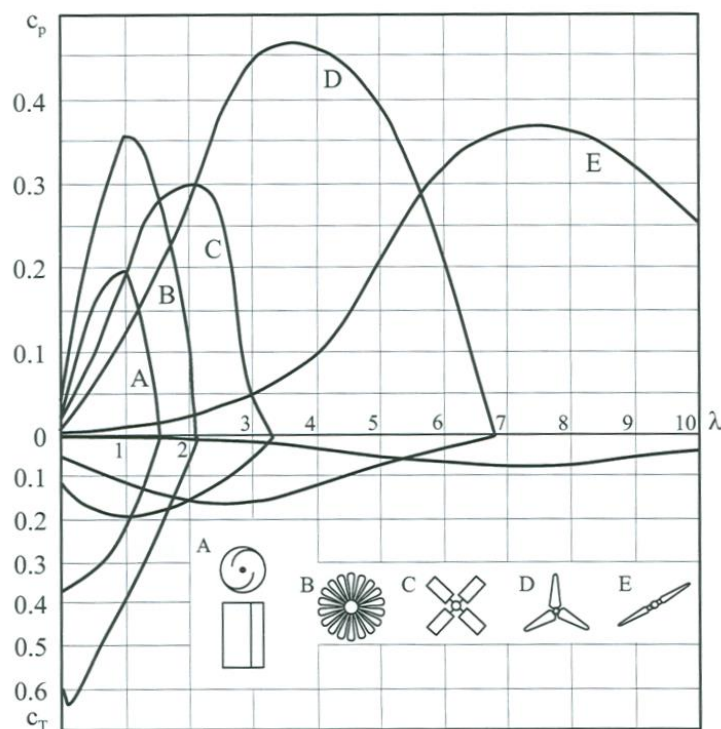
## 2.3 Tuulivoimala

Tuulivoimalan roottori ei pysty hyödyntämään sen pinta-alan läpi kulkevan virtauksen koko energiaa. Tuulesta saatava teho voidaan laskea yhtälöstä 1. (Suomen Tuuliatlas)

$$P_a = 0,5 \cdot \rho \cdot \pi \cdot r^2 \cdot v^3 \cdot c_p \quad (1)$$

, jossa  $P_a$  = tuulesta saatava teho [W],  $\rho$  = ilman tiheys [ $\text{kg/m}^3$ ],  $r$  = roottorin ulkosäde [m],  $v$  = tuulen nopeus [m/s] ja  $c_p$  = roottorin tehokerroin.

Hyödyksi saatavan energian määrä riippuu voimalatyypistä. Saksalainen fyysikko Albert Betz osoitti vuonna 1926, että teoreettinen hyötysuhteen maksimiarvo on  $16/27 \approx 0,593$ . Arvoa kutsutaan Betzin tehokertoimeksi eikä sitä voi käytännössä saavuttaa, vaikka nykyaikaiset voimalat ovat yhä tehokkaampia. (Suomen tuuliatlas). Kuviossa 1 on eri voimalatyypien vaikutus hyötysuhteeseen.



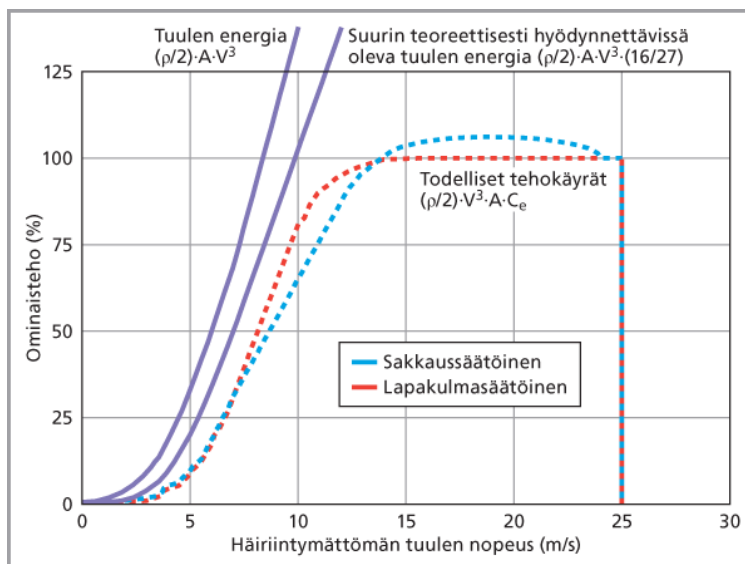
KUVIO 1: Voimalatyypin vaikutus hyötysuhteeseen (Hietalahti L.)

Kuviossa 1 esiintyvä  $\lambda$  on roottorin kärkinopeuden suhde tuulennopeuteen vapaassa virtauksessa. Arvoa kutsutaan myös nimellä TSR (Tip Speed Ratio).  $\lambda$ :n arvo voidaan laskea yhtälöstä 2. (Hietalahti)

$$\lambda = \frac{\omega_t \cdot r}{v_t} = \frac{4 \dots 8}{v_t} \quad (2)$$

, jossa  $\omega_t$  = roottorin kulmanopeus [1/s],  $r$  on roottorin säde [m] ja  $v_t$  = tuulen nopeus [m/s].

Tuulivoimaloissa on käytössä myrskysuojaus, joka kääntää roottoria tuulesta pois ja täten rajoittaa tuulesta otettavaa tehoa. Tämä tehdään laitteiston suojaamiseksi yllirasi-  
tukselta. Jossain vaiheessa roottori käännetään kokonaan pois tuulesta ja vielä lukitaan paikoilleen. Kuviossa 2 on esitetty tuulivoimaloiden todelliset tehokäyrät erityyppisillä myrskysuojauksilla.



KUVIO 2: Tuulen energiasisällön, tuulivoimalan teoreettisen maksimaalisen energian ja erityyppisillä myrskysuojauksilla varustettujen tuulivoimaloiden lasketut tehokäyrät (Suomen tuuliatlas)

### 3 TOLPPATUULIVOIMALA

Yleisesti käytettävissä tuulivoimaloissa on vain yksi roottori. Sen tuottama teho siirretään verkkoon tai akustoon laitteiston kautta, jollainen on jokaisella voimalalla omansa. Tässä työssä käsiteltävässä tuulivoimalassa roottoreita on useampia ja niistä on aina kaksi liitetty yhteen pariksi.

Tolppatuulivoimalan yksi yksikkö koostuu kahdesta generaattorista, jotka on liitetty toisiinsa siten, että ne pyörivät runkona toimivan ristikkopalkin ympäri. Kuvassa 3 on esitetty voimalan yksi yksikkö. Valmiissa tuulivoimalassa on näitä pareja useampia eri korkeuksilla. Nämä yksiköt pyörivät rungon ympäri toisistaan riippumatta.



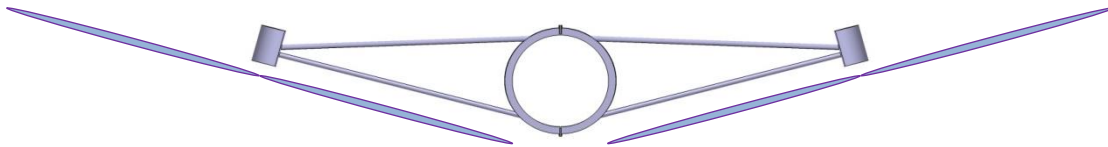
KUVA 3: Tolppatuulivoimalan yksikkö (Mikael Anttila)

Roottoreiden määrän lisäksi tolppatuulivoimala on erilainen siinä mielessä, että se on kiinnitettävissä lähes mihin tahansa valmiina olevaan runkorakenteeseen. Lähinnä kyseeseen tulee ristikkopalkki, mutta lähes mikä tahansa runkotyyppi on mahdollinen.

Sähkön siirto tapahtuu liukurengaskoneistolla, joka liittää generaattorirakennelman runkoon. Liukurengaskoneistoa käytettäessä ei tarvitse ottaa huomioon kaapelien kiertymistä, mikä saattaa muodostua ongelmaksi perinteisissä tuulivoimaloissa. Tässä työs-

sä keskitytään pohtimaan miten kaksi tai useampi generaattori liitetään yhteen, joten siihen miten sähkön siirtäminen käytännössä tapahtuu, ei oteta tässä kantaa.

Kuvassa 4 on generaattorirakennelma ylhäältäpäin nähtynä. Generaattorit on asetettu  $30^\circ$  kulmaan toisiinsa nähden, jonka vaikutuksesta se hakeutuu automaattisesti tuuleen. Tuulen puuskaisuus saattaa aiheuttaa ongelmia, joten se on vielä testattava ennen lopullista päätöstä.



KUVA 4: Tolppatuulivoimalan yksikkö ylhäältä päin

Erikoinen rakenneratkaisu aiheuttaa rajoituksia roottorien koolle. Ottaen huomioon että generaattorit on aseteltu pääosin rungon viereen, on koko rakennelma suhteellisen leveä. Jos roottorit ovat 3 metriä leveitä, yhden voimalaparin leveys on noin 7 metriä. Mikäli voimalaan halutaan isommat roottorit, ne voidaan asentaa osittain päällekkäin siten, että toinen on hieman edempänä kuin toinen. Miten tämä vaikuttaa voimalan tehoon ja tuuleen hakeutumiseen on vielä testattava.

Tässä yhteydessä ei oteta myöskään kantaa tuulivoimalan mahdolliseen myrskysuojaukseen. Tolppatuulivoimalaan valituilla WindSpotin tuulivoimaloiden roottoreissa on sisäänrakennettu automaattinen lapakulmansäätö. On kuitenkin vielä mietittävä tarvitaanko niiden lisäksi myös muita suojauskeinoja, esim. generaattoriparin lukitseminen paikalleen kovalla tuulella.

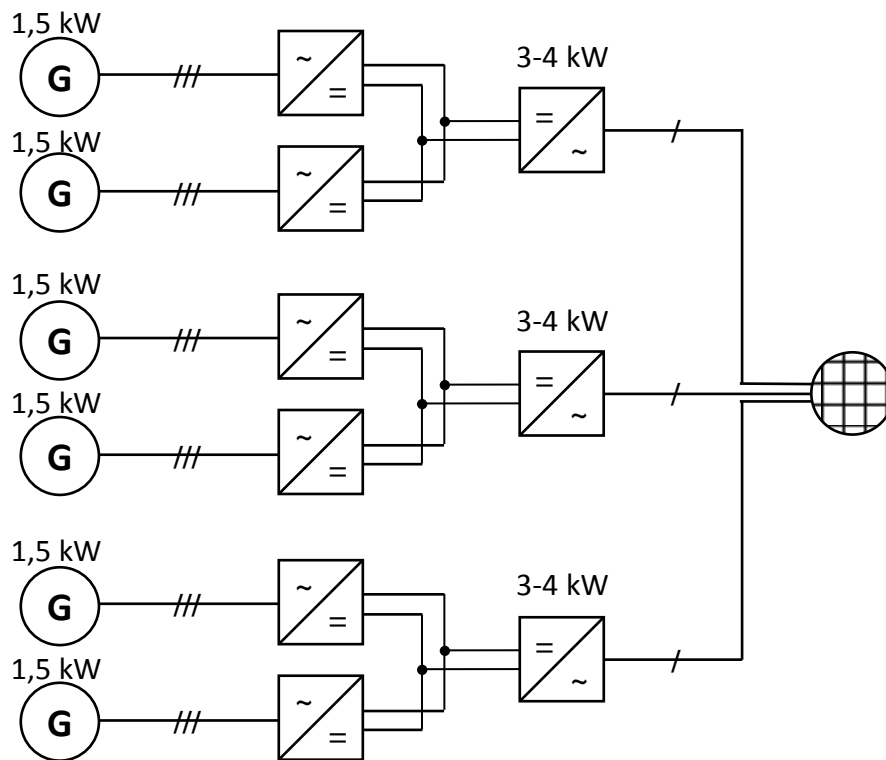
Tolppatuulivoimalaan liittyvän rakennesuunnittelun on tehnyt opinnäytetyössään Mikael Anttila Tampereen Ammattikorkeakoulun rakennustekniikan koulutusohjelmasta.

## 4 GENERAATTORIT JA TEHONSYÖTTÖLAITTEET

Tuulivoimala on tarkoitettu suunnitella olemassa olevilla kaupallisesti saatavilla olevilla laitteilla ja komponenteilla.

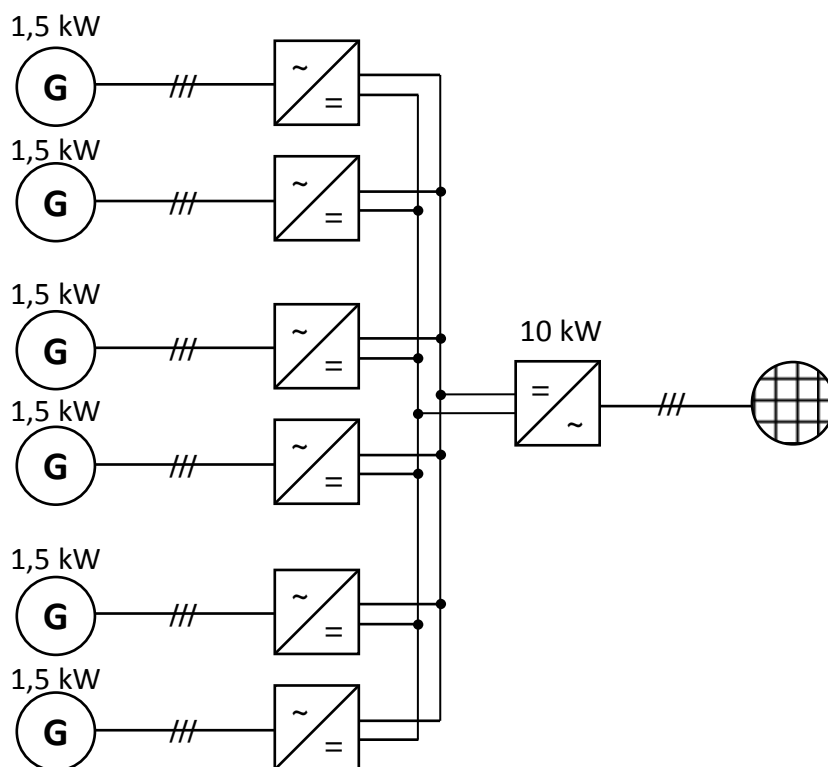
### 4.1 Kytkenät

Tässä työssä keskitytään 6-roottorisen tolppatuulivoimalan suunnitteluun; voimalassa on siis kolme generaattoriparia. Kuvissa 5 ja 6 on esitetty generaattoreiden ja tehonsyöttölaitteiden mahdolliset kytkennät.



KUVA 5: Kytkenä 1. Jokainen generaattoripari kytketty omaan verkkoinvertteriin.

Kuvan 5 tapauksessa järjestelmää on helppo laajentaa tai supistaa lisäämällä tai poistamalla generaattoripareja. Haittana on, että tällöin tarvitaan jokaiselle parille oma verkkoinvertteri, joka lisää kustannuksia. Laite voi olla teholtaan pienempi kuin kuvan 6 tapauksessa, mutta hintaero ei silti ole välttämättä riittävän edullinen.



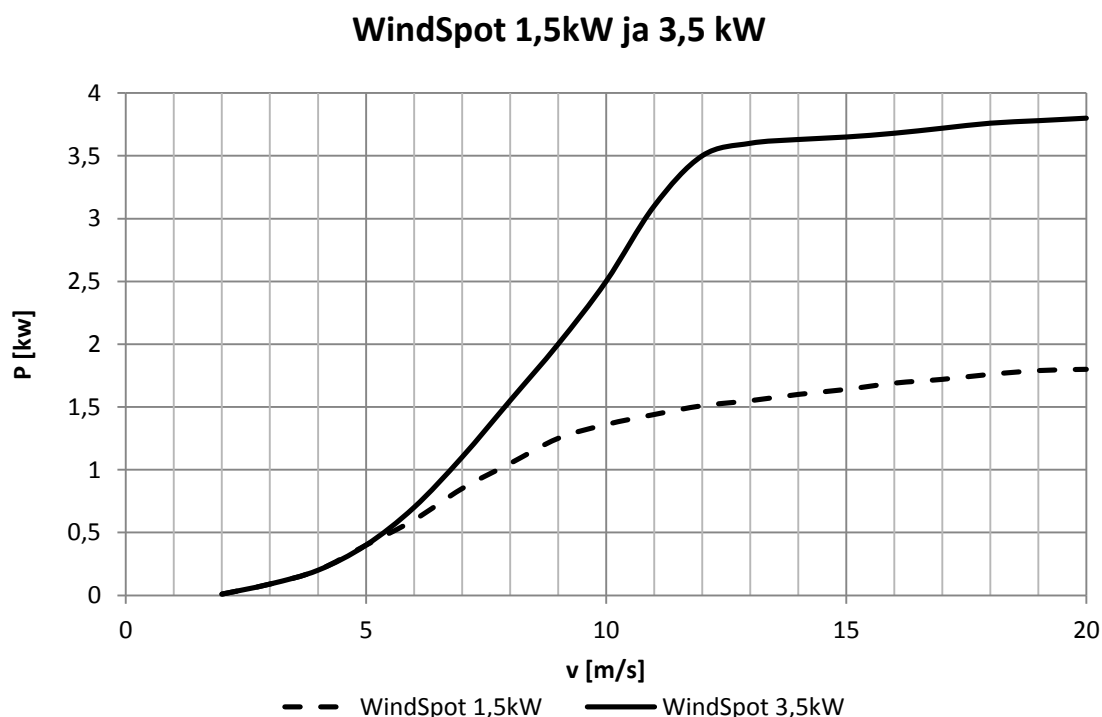
KUVA 6: KytKentä 2. Kaikki generaattoriparit kytketty yhteen suuritehoiseen vaihtosuuntaajaan.

Kuvan 6 järjestelmä ei ole yhtä helposti laajennettavissa. Toisaalta isomman kokoluokan verkkoinvertterit ovat lähes poikkeuksetta 3-vaiheisia, jolloin järjestelmän verkkoon syöttämä teho jakautuu tasaisesti eri vaiheiden kesken. Tämä ei välttämättä toteudu kuvan 5 kytkennässä, koska tuuliolosuhteet eri korkeuksilla saattavat vaihdella.

## 4.2 Generaattorit

Generaattoriksi valitaan suhteellisen pienitehoinen tuulivoimala. WindSpotin 1,5 kW:n ja 3,5 kW:n voimaloissa on molemmissa samankokoinen noin 4 m:n roottori. Tämän kokoinen roottori on hieman liian suuri tolppatuulivoimalaan, mutta pienemmällä roottorin halkaisijalla voimalan tuotto laskee liikaa. Kuten aiemmin kerrottiin generaattorit voidaan asentaa hieman limittäin, jolloin roottorit voivat olla hieman suurempia. Mittoiltaan ja painoiltaan molemmat generaattorit ovat hyvin samankokoisia.

Kuviossa 3 on esitetty voimaloiden tuottokäyrät.



KUVIO 3: WindSpot 1,5 kW ja WindSpot 3,5 kW tuottokäyrät

Kuviossa 4 on Vuoreksen alueen tuulien todennäköisyysjakauma. Siitä nähdään, että 80% tuulennopeuksista asettuu välille 2-7 m/s ja 50% välille 4-6 m/s.

Molempien voimaloiden käyntiinlähtönopeus on 3 m/s, joten Vuoreksen olosuhteet ovat molempien toiminta-alueen alapäässä. Kuten kuvioista 3 nähdään, pienempi 1,5 kW:n voimalan tuotto on hieman parempi erittäin pienillä tuulenvoimakkuuksilla, kun taas alueen ylärajalla 3,5 kW:n voimalan tuotto on suurempi.

On pohdittava, onko suuremman generaattorin valinta suuremmasta tuotannosta huolimatta kannattava, sillä suuremmat tuulennopeudet ovat harvinaisempia. Lisäksi voimalan hinta nousee tehon mukaan. Generaattoriksi valitaan WindSpotin 1,5 kW:n voimala. Se on edullisempi vaihtoehto tarkastelun alla olevalla tuulennopeusalueella. Suuremman 3,5 kW:n voimalan tuottama teho verrattuna 1,5 kW:n vaihtoehtoon ei ole riittävän suuri, jotta sen valinta olisi kannattavaa. Isomman voimalan edut tulevat selvemmiksi vasta 8 m/s suuremmilla tuulenvoimakkuuksilla.



Tolppatuulivoimalan tehonsyöttölaitteita valittaessa on otettava huomioon generaattorien maksimitehot. Liitteessä 3 olevasta WindSpot 1,5kW:n datalehdessä nähdään, että voimalan tuottama maksimiteho on 1,8 kW. Tämä teho saavutetaan, kun tuulennopeus on n. 19 – 25 m/s. Eri kytkentätavat vaikuttavat tehonsyöttölaitteiden valintaan. Niiden kestävät huipputehot on oltava 3,6 kW (kytkentä 1, kuva 5) tai 10,8 kW (kytkentä 2, kuva 6).

Nämä tehot saavutetaan vasta erittäin suurilla tuulennopeuksilla juuri ennen kuin voimalan myrskysuojaus alkaa toimia. Maksimiteho on kuitenkin otettava huomioon, jotta välttyttäisiin laitteiston rikkoutumiselta ja ylikuormittumiselta.

### **4.3 Tasasuuntaaja**

Järjestelmän tasasuuntaajat on mitoitettava voimalan tuottaman maksimitehon mukaan. Tasasuuntaajaksi valitaan Power-Onen Aurora-tuoteperheestä laite, jonka tyyppi on PVI-4000 Wind Interface. Sen tiedot löytyvät liitteestä 4. Järjestelmän eri kytkentätavat eivät vaikuta tasasuuntaajan valintaa, vaan siihen vaikuttaa ainoastaan generaattorin tuottama maksimiteho.

### **4.4 Verkkoinvertteri**

Verkkoinvertteri on mitoitettava eri kytkentätapojen verkkoinvertterille tuottaman maksimi tehon mukaan, jotka ovat 3,6 kW (kytkentä 1, kuva 5) tai 10,8 kW (kytkentä 2, kuva 6). Kuten aiemmin mainittiin, eri korkeuksilla sijaitsevien generaattoreiden tuottama teho saattaa vaihdella ja siten tasaisen 3-vaiheisen tehon tuottaminen verkkoon kuvan 8 mukaisella kytkennässä saattaa tuottaa vaikeuksia. Lisäksi yksi isompi verkkoinvertteri tulee kustannuksiltaan halvemmaksi kuin kolme pienempää, vaikka se on kalliimpi.

Kytken 1 tilanteessa laitevalintoina tulee kyseeseen esim. Power-One Aurora PVI-3.6-TL-OUTD-W, jonka nimellisteho on 3,6 kW ja maksimiteho 4000 W. Laitteen datalehti on liitteessä 5. Kytken 2 ollessa kyseessä, Ginlongin tuotteissa löytyy mm. tyyppi CGI-10K, jonka nimellisteho on 10 kW. Tämän kokoluokan laitteita ei ole kuitenkaan vielä saatavissa Euroopassa.

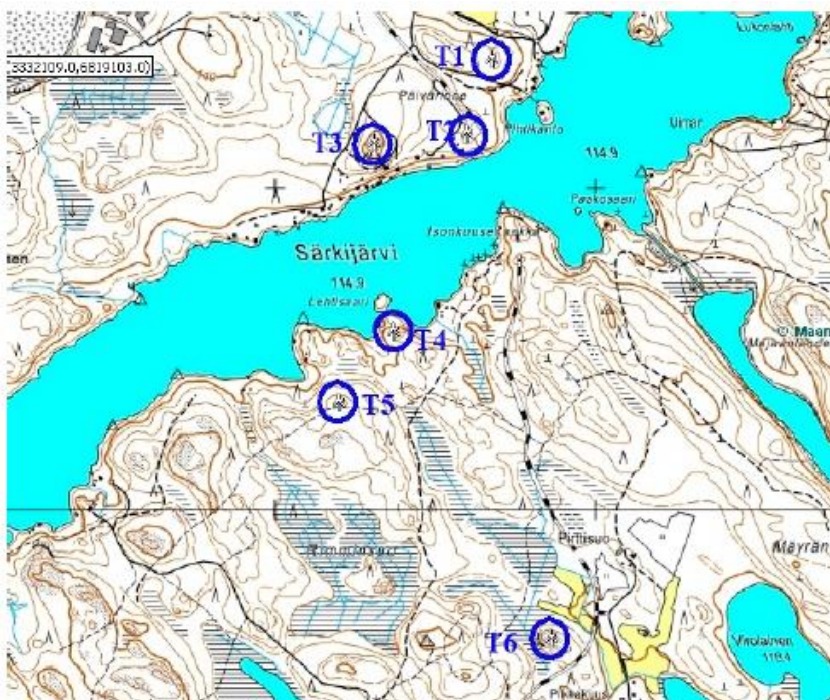
## 5 LASKENNALLINEN VUOSITUOTANTO

### 5.1 Perustiedot ja Weibull-jakauma

Tuulivoimalan laskennalliseen vuosituotantoon tarvittavat tuulen todennäköisyystilastot saadaan Suomen Tuuliatlaksen verkkopalvelusta (Suomen Tuuliatlas. Ilmatieteenlaitos). Tässä keskitytään tarkastelemaan Vuoreksen aluetta Tampereella. Tällä alueella tuulitiedot on saatavissa 2,5x2,5 km<sup>2</sup> ruuduissa, joka kattaa koko Vuoreksen alueen suunnitellut tuulivoimalat ja täten jokaisen suunnitellut tuulivoimalan paikan tarkastelu erikseen ei ole mahdollista.

Tuulivoimalan vuosituotannon laskemiseen tarvitaan tuulennopeuksien todennäköisyysjakauma. Siitä lasketaan vuoden aikana vallitsevien tuulien todennäköisyydet ja teoreettinen tuotanto jokaiselle tuulennopeudelle. Vuotuinen kokonaistuotanto on näiden osatuotantojen summa.

Pientuulivoimaa Vuorekseen -raportissa on tarkasteltu kuvassa 7 nähtäviä sijoituspaikkoja. Näistä raportissa kuvattavan projektin aikana valittiin kolme: T2, T5 ja T6. Kuten aiemmin kerrottiin, koko tältä alueelta on saatavissa vain yhdet tuulitiedot.



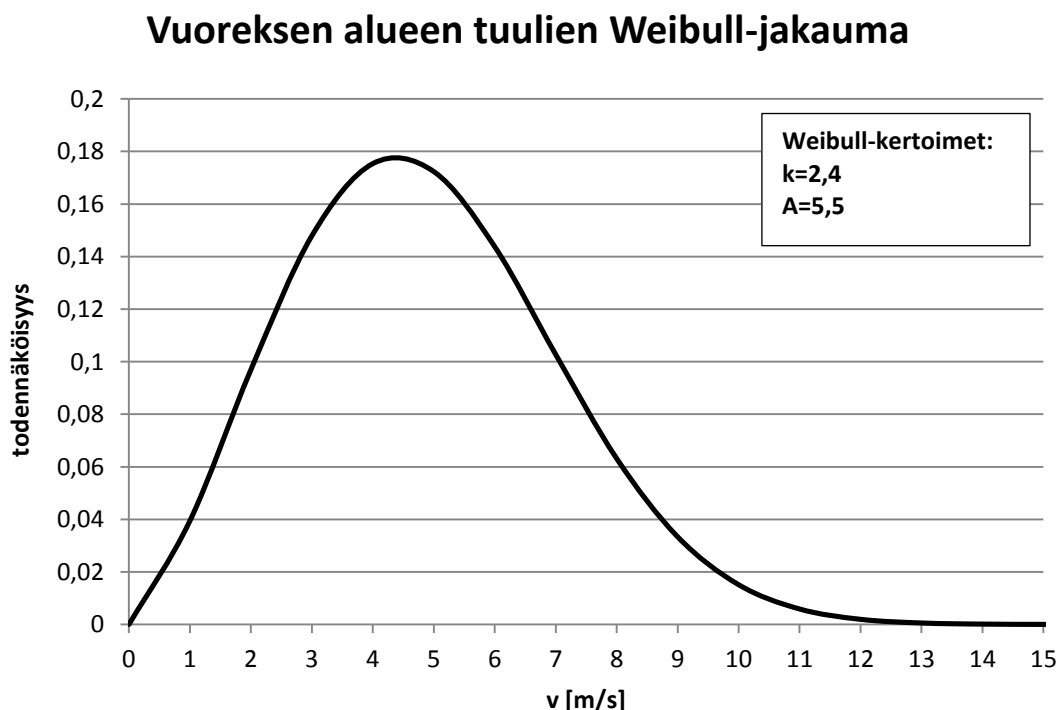
KUVA 7: Vuoreksen alueelle suunniteltujen tuulivoimaloiden paikat. (Haapanen, s. x)

Tuuliatlaksesta saadaan tuulien todennäköisyysjakauma kuvattuna Weibullin kertoimien  $k$  ja  $A$  avulla. Kerroin  $k$  on muotoparametri ja  $A$  on skaalausparametri. Kaksiparametrin Weibull-jakauman tiheysfunktio voidaan esittää yhtälön 3 esittämässä muodossa (Suomen Tuuliatlas).

$$F(u; A, k) = \frac{k}{A} \left( \frac{u}{A} \right)^{k-1} e^{-\left( \frac{u}{A} \right)^k} \quad (3)$$

Weibull-jakauma ei vastaa täysin mittaustuloksista saatavaa nopeusjakaumaa. Tämä johtuu mm. mittauspaikan ympäristön rosoisuudesta ja mittauskorkeudesta (Suomen Tuuliatlas).

Weibull-jakaumaa laskettaessa ei ole välttämätöntä käyttää yhtälöä 3, vaan monissa taulukkolaskentaohjelmissa on mukana jakauman laskenta. Esim. Microsoft Excel 2010:ssa jakauman saa laskettua funktiolla WEIBULL.JAKAUMA. Kuviossa 4 on esitetty tuuliatlaksesta saatujen tietojen perusteella piirretty Vuoreksen alueen tuulien todennäköisyysjakauma.



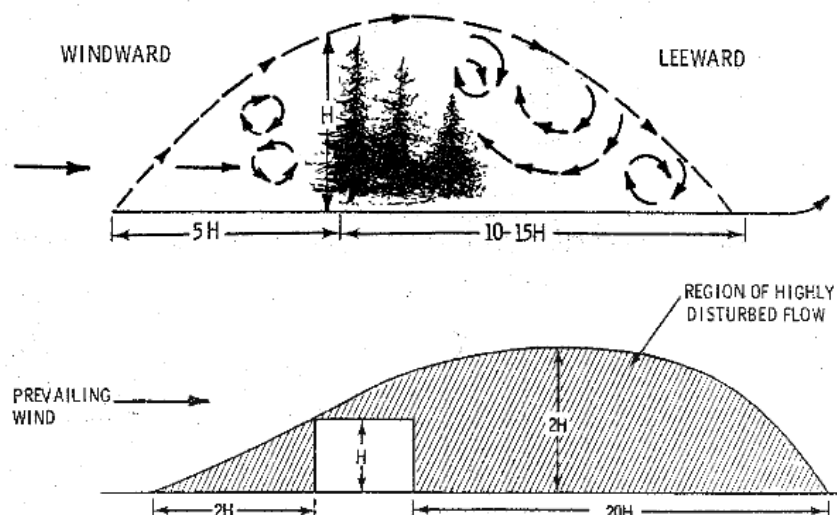
KUVIO 4: Vuoreksen alueen tuulien Weibull-jakauma 50 metrin korkeudella.

## 5.2 Vuosituotanto

Tolppatuulivoimalaan valittiin WindSpotin tuotteista 1,5 kW:n voimala. Sen tuottolaskelmat on esitetty liitteessä 1. Niiden perusteella voimalan vuosituotannoksi saadaan 3792 kWh. Tässä tarkastellaan tolppatuulivoimalaa, jossa on yhteensä 3 generaattoriparia ja 6 yksittäistä voimalaa. Niiden yhteenlaskettu vuosituotanto on 22756 kWh.

Pientuulivoimaa Vuorekseen –raportissa on käytetty valmistajan ilmoittamasta poikkeavaa tehokuvaajaa. Jotta laskettuja tuottoja voidaan vertailla, täytyy myös tämän tuulivoimalan tuotanto laskea uudelleen. Laskelmat on esitetty liitteessä 2. Ilmari 10kW:n vuosituotannoksi saadaan 21184 kWh.

Nämä tulokset ovat ainoastaan viitteellisiä ja tuulivoimalan ympäristön maaston muodot, metsät, järvet jne. vaikuttavat todelliseen tuotantoon. Kuvassa 8 nähdään miten puut ja rakennukset vaikuttavat tuulen pyörteisyyteen. Lisäksi laskennallinen tuotanto olettaa, että voimala toimii koko ajan ideaalisesti ja on suuntautuneena suoraan tuuleen. Tästä johtuen täytyy laskennallisesta tuloksesta vähentää noin 20%, jolloin saadaan hieman todenmukaisempia tuloksia. Saatuja laskennallisia tuloksia voi kuitenkin verrata suoraan ilman, että niistä suoritetaan 20% vähennys.



KUVA 8: Metsän ja rakennusten vaikutus tuulen pyörteisyyteen (Solar Ray: Wind Power and Turbine Systems)

Tuloksista huomataan, että tolppatuulivoimala on varteenotettava vaihtoehto korvaamaan Ilmari 10kW -voimalan, huolimatta siitä että kuuden WindSpot 1,5 kW -voimalan yhteenlaskettu teho on vain 9 kW. Ero johtuu siitä, että isompi voimalan tuotto on yleensä parempi suuremmilla tuulen voimakkuuksilla, kun pienemmät on optimoitu alhaisille tuulen nopeuksille. Lisäksi pienemmät voimalat käynnistyvät pienemmällä tuulella.

Taulukossa 1 on yhteenveto voimaloiden laskennallisesta tuotoista. WindSpot 1,5kW:n voimalan kohdalla taulukossa on 6 voimalan yhteenlaskettu tuotto.

TAULUKKO 1: Voimaloiden laskennallinen vuosituotanto

Tuulivoimala	Laskennallinen vuosituotanto [kWh]	Laskennallinen vuosituotanto -20% [kWh]
Ilmari 10kW	21 184	16 947
WindSpot 1,5kW	22 756	18 205

## 6 KUSTANNUKSET

Vuoreksen tapauksessa on selvitetty erikokoisten tuulivoimaloiden rakentamista alueelle. Eräs vaihtoehto on 10 kW:n Ilmari takatuulivoimala. Tässä työssä tarkasteltu tolppatuulivoimala on suunniteltu pääsääntöisesti sisältämään kuusi 1,5 kW:n generaattoria.

Alla on laskelmat eri voimalavaihtoehtoista. Hinnat on toimittanut Esa Eklund Kodin Vihreä Energia Oy:stä.

### Ilmari 10kW

voimala (sis. valmistajan invertteri)	24 000 €
masto	11 000 €
<u>maston rahti Suomeen</u>	<u>2 000 €</u>
YHTEENSÄ	37 000 €

### WindSpot 1,5kW

6 x voimala (á 6250 €, sis. tasasuuntaaja)	37 500 €	
<u>3 x verkkoinvertteri Aurora PVI-3.6 (á 1800 €)</u>	<u>5 400 €</u>	(kytkentä 1)
YHTEENSÄ	42 900 €	

Toinen vaihtoehto tolppatuulivoimalan kytkennäksi on kuvassa 6 esitetty tapa, jossa kaikki kuusi tuulivoimalaa on yhdistetty yhteen 3-vaiheiseen verkkoinvertteriin. Power Onella on valikoimissa yksi 10kW:n verkkoinvertteri USA:n markkinoilla, mutta sitä ei ole vielä saatavissa Euroopassa. Samoin Ginglongin kuvastossa on 10 kW:n verkkoinvertteri CGI-10K, mutta sitä ei ole vielä saatavilla. Yleensä tällaisissa tapauksissa käytetään kolmea 3-4 kW:n invertteriä rinnakkain. Tämä on sama tilanne kuin kuvassa 5 esitetty kytkentä 1. (Eklund, E.)

## 7 POHDINTOJA LAITAVALINNOISTA

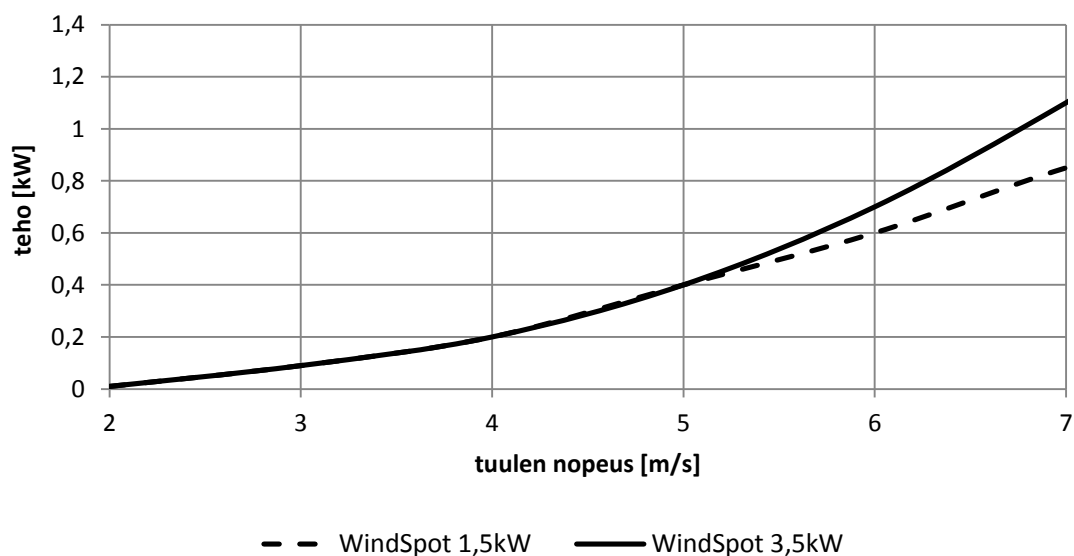
Valittujen laitteiden datalehdet löytyvät liitteistä 3-5.

Ilmari 10kW:n korvaaminen tolppatuulivoimalalla on kustannusten kannalta kannattamatonta. Toisaalta sen vuosituotto on aivan samalla tasolla isomman tuulivoimalan kanssa.

Pienen WindSpot 1,5kW:n voimalan korvaaminen hieman isommalla 3,5 kW:n versiolla nostaisi tolppatuulivoimalan vuosituoton 29538 kW:iin (yhden voimalan tuotto on 4923 kW). Laskelma on esitetty liitteessä 6. Ilmari 10kW tuottaa vuodessa 21184 kW. Kuten kuviosta 5 nähdään, näiden kahden WindSpotin voimalan tuottokäyrä on alhaisilla Vuoreksen alueella vallitsevilla tuulilla kuitenkin hyvin samanlainen. Erot ilmenevät vasta yli 5 m/s suuremmilla tuulivoimakkuuksilla. 80% Vuoreksen alueen tuulista sijoittuvat välille 2-7 m/s ja 50% välille 4-6 m/s.

Tuulen nopeuden ollessa 7 m/s, ero näiden kahden tuulivoimalan tehojen välillä on 300 W. Vuositasolla tämä ero tuo 270 kWh:n lisäyksen. Isompi voimala tuottaa yli 7 m/s tuulilla huomattavasti enemmän, mutta toisaalta nämä tuulet ovat harvinaisempia ja täten isomman voimalan käyttäminen ei välttämättä tuo suurta etua.

### WindSpot 1,5kW ja 3,5 kW



KUVIO 5: WindSpotin 1,5 kW ja 3,5 kW:n tuulivoimaloiden tehojen vertailu

## 8 VERKKOON LIITTÄMINEN JA SUOJAUKSET

Verkkoon liittamisesta on olemassa verkostosuositus YA9:09, jossa käsitellään tarvittavat asiat.

Pientuotannon verkkoon liittamisesta on aina tehtävä ilmoitus sähköyhtiölle. Liian suuri yksivaiheinen tuotanto aiheuttaa epätasapainoa verkkoon ja vaarantaa verkon turvallisuuden ja luotettavuuden. Yksivaiheiden mikrotuotantolaitoksen maksimiteho saa olla noin 3,7 kVA.

Verkon kanssa rinnan toimiva mikrotuotanto ei saa aiheuttaa häiriöitä verkkoon eikä muihin sähköasennuksiin. Harmoninen kokonaissärö saa olla liittämiskohdassa maksimissaan 8%. Standardissa SFS-EN 50160 on asetettu rajat liittämiskohdassa mitattaville yksittäisille harmonisille yliaalloille, välkynnälle ja jännitetason vaihteluille.

Mikrotuotantolaitteisto on varustettava suojalaitteilla, jotka kytkevät laitteiston irti yleisestä verkosta, jos verkkosyöttö katkeaa, tai jos jännite tai taajuus generaattorilaitteiston navoissa poikkeaa mikrotuotannon sallitulle toiminnalle asetelluista jännite- ja taajuusarvoista. Mikrotuotanto ei saa koskaan kytkeytyä verkkoon, kun verkon jännite tai taajuus ei ole annetuissa rajoissa. Yleensä kaikki nykyiset markkinoilla olevat verkkoinvertterit tahdistuvat automaattisesti verkkoon, joten siinä suhteessa mitään ylimääräisiä laitteita ei tarvita.

Vikatilanteessa laitteiston tulee irrota verkosta. On tärkeää, että mikrotuotantolaitos ei ylläpidä vikatilanteissa verkon jännitettä. Laitoksen oman suojauksen tulee huolehtia siitä, ettei se syötä tehoa jännitteettömään verkkoon. Pientuotannon suojauksille on asetettu taulukossa 2 olevat rajat.



TAULUKKO 2: Liittymän suojauksen asetteluarvot, kaksiportainen suojaus.

Parametri	Toiminta-aika	Asetteluarvo
Ylijännite – taso 1	1,5 s	$U_n + 10\%$
Ylijännite – taso 2	0,15 s	$U_n + 15\%$
Alijännite – taso 1	5 s	$U_n - 15\%$
Alijännite – taso 2	0,15 s	$U_n - 50\%$
Ylitaajuus	0,2 s	51 Hz
Alitaajuus	0,5 s	48 Hz
Loss of Mains *	0,15 s	

\* Loss of Mains –suojauksen eli saarekekäytönestosuojauksen tulee käyttää jakeluverkkoon sopivia havaitsemistekniikoita.

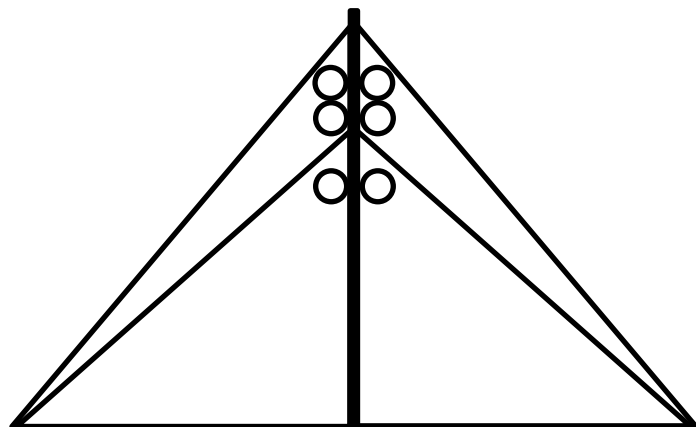
(Verkostosuositus YA09:9, s. 7)

## 9 KÄYTTÖ GSM-LINKKIMASTON VARAVOIMALÄHTEENÄ

Eräs käyttökohde tämän tyyppiselle voimalalle on GSM-linkkimastojen varavoimana. Tuulivoimaloita on käytetty tähän tarkoitukseen ennenkin, mutta yleensä niiden teho on riittävä ainoastaan lataamaan linkkiaseman akustoa. Tässä käsiteltävä voimala on ensisijaisesti tarkoitettu tehdä syöttämään tehoa valtakunnanverkkoon, joten sen tuottama teho on suurempi.

On sopivaa olettaa, että yhteen GSM-linkkimastoon mahtuu kolme roottoriparia, eli siis yhteensä 6 generaattoria. Kuusi 1,5 kW:n generaattoria tuottaa yhteensä 9 kW:n tehon, mikä on riittävän tehokas myös siihen, että on mielekästä syöttää sitä valtakunnanverkkoon.

Kuvassa 9 on periaatteellinen kuva miltä tällainen tolppatuulivoimala saattaisi näyttää.



KUVA 9: Tolppatuulivoimala GSM-linkkimaston varavoimanlähteenä

## 10 LOPPUPÄÄTELMÄT

Tuulivoima on kasvava energiantuotannon ala. Suomessa sitä haittaa ja rajoittaa huonot tuuliolosuhteet verrattuna esim. Keski-Euroopan maihin, jossa tuulen keskinopeudet ja tuulisuus ovat aivan eri luokkaa. Tanskassa tuotetaan hyvin suuri osa sähköstä tuulivoimalla, mutta koska se on riippuvainen tuulisuudesta, joudutaan siellä ostamaan sähköä ulkomailta tuulettomina aikoina.

Suomessa tuulivoiman kannattavuus ja potentiaali on lähinnä pientuotannossa. Koko ajan kasvavan sähköenergian aikana, itse tuotettu energia auttaa pienentämään sähkölaskua. Tuulivoima on käytännöllistä erityisesti lämmityksessä sekä lämpimän veden tuottamiseen. Myös kesämökeillä, joissa energiantarve on suhteellisen pientä, on tuulivoima eräs vartenotettava vaihtoehto.

Tämä suunnitelma jää monin osin pelkästään teorian asteelle. Jos tolppatuulivoimala joskus tulevaisuudessa saatetaan kaupalliseen tuotantoon asti, on tässä esitetyt seikat vielä tarkistettava ja sovitettava lopullisesti valittujen osien ja komponenttien vaatimuksiin sopiviksi. Kuten jo aiemmin mainittiin myös sähköön siirtäminen generaattoreilta laitteistolle sekä mahdollinen generaattoreiden myrskysuojaus on suunniteltava erikseen.

Varsinkin pientuulivoimaloiden tuotantoluvut ovat varsin alhaisia etenkin sisämaassa. Tolppatuulivoimala-projektin ja työn tekemisen aikana tuli jälleen huomattua tämä asia. Osittain tämä johtuu Suomen varsin huonoista tuuliolosuhteista ja siitä, että useimmat tuulivoimalat tuottavat nimellistehonsa vasta suhteellisen isoilla tuulen nopeuksilla, noin 10 – 12 m/s. Tätä alhaisemmat nopeudet tuottavat vain murto-osan tästä.

Projekti toi jälleen esiin halun suunnitella ja rakentaa oma pientuulivoimala.

## LÄHTEET

Anttila Mikael. 2011. Tolppatuulivoimalan rakennesuunnittelu. Konetekniikan koulutusohjelma, Tuotekehityksen suuntautumisvaihtoehto. Tampereen ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

Eklund, Esa. Tarjouspyyntö. Sähköpostiviesti. myynti@kodinenergia.fi. Luettu 18.4.2013.

Ginlong. GCI-10K. pdf-tiedosto. Luettu 6.4.2013.  
*[http://www.ginlong.com/download/201112/GCI-10\\_Technical\\_Data.pdf](http://www.ginlong.com/download/201112/GCI-10_Technical_Data.pdf)*

Global Wind Report. Annual Market Update 2012. pdf-tiedosto. Luettu 2.6.2013.  
*[http://www.gwec.net/wp-content/uploads/2012/06/Annual\\_report\\_2012\\_Low-Res.pdf](http://www.gwec.net/wp-content/uploads/2012/06/Annual_report_2012_Low-Res.pdf)*

Haapanen Erkki. Pientuulivoimaa Vuorekseen. Raportti TT-2011-05-25 EH. pdf. Tuulitaito Oy. 2011.

Hietalahti Lauri. Opetusmoniste. pdf. Tampereen ammattikorkeakoulu.

Kodin vihreä energia Oy. www-sivu. Luettu 6.4.2013.  
*<https://sites.google.com/site/kodinvihreaenergia/Ilmari-10kW>*

Power-One Aurora PVI-3.0/3.6/4.2-W. pdf-tiedosto. Luettu 2.6.2013.  
*[http://www.power-one.com/sites/power-one.com/files/documents/renewable-energy/datasheet/pvi-3.0\\_3.6\\_4.2-tl-w\\_en.pdf](http://www.power-one.com/sites/power-one.com/files/documents/renewable-energy/datasheet/pvi-3.0_3.6_4.2-tl-w_en.pdf)*

Power-One PVI-4000 Wind Interface. pdf-tiedosto. Luettu 6.4.2013.  
*[http://www.power-one.com/sites/power-one.com/files/documents/renewable-energy/datasheet/40007200\\_wind\\_interface\\_en\\_0.pdf](http://www.power-one.com/sites/power-one.com/files/documents/renewable-energy/datasheet/40007200_wind_interface_en_0.pdf)*

Solar Ray: Wind Power and Turbine Systems. www-sivu. Luettu 2.6.2013.  
*[http://www.solararray.com/TechGuides/WindPower\\_T.php](http://www.solararray.com/TechGuides/WindPower_T.php)*

Suomen Merituuli Oy. Tietoa tuulivoimasta. www-sivu. Luettu 6.4.2013.  
*[http://www.suomenmerituuli.fi/fi/tietoa\\_tuulivoimasta](http://www.suomenmerituuli.fi/fi/tietoa_tuulivoimasta)*

Suomen Tuuliatlas. Ilmatieteen laitos. www-sivu. Luettu 2.6.2013.  
*<http://tuuliatlas.fmi.fi/fi/>*

Suomen Tuuliatlas. www-sivu. Luettu 2.6.2013.  
*<http://www.tuuliatlas.fi>*

Suomen Tuulivoimayhdistys. www-sivu. Luettu 6.4.2013.  
*<http://www.tuulivoimayhdistys.fi>*

- Verkostosuositus YA09:9. Mikrotuotannon liittäminen sähkönjakeluverkkoon. pdf-tiedosto. Luettu 3.6.2013  
[http://energia.fi/sites/default/files/mikrotuotannon\\_liittaminen\\_verkostosuositus\\_lopullinen\\_2009.pdf](http://energia.fi/sites/default/files/mikrotuotannon_liittaminen_verkostosuositus_lopullinen_2009.pdf)
- Windspot. WindSpot 1,5 kW datalehti. www-sivu. Luettu 6.4.2013.  
<http://finland.windspot.es/home-wind-turbines/products/88/windspot-15-kw>
- World Wind Energy Report 2010. pdf-tiedosto. Luettu 2.6.2013.  
[http://www.wwindea.org/home/images/stories/pdfs/worldwindenergyreport2010\\_s.pdf](http://www.wwindea.org/home/images/stories/pdfs/worldwindenergyreport2010_s.pdf)

## LIITE 1

**VUOSITUOTANTOLASKELMA: WINDSPOT 1,5KW**

Tuulen nopeus [m/s]	Tuulijakauma [%]	Tunnit [h]	Voimalan teho [kW]	Voimalan tuotto [kWh]
1	0,039453103	345,60918	0	0
2	0,0969318	849,12257	0,01	8,49122572
3	0,147883006	1295,4551	0,09	116,5909616
4	0,175383636	1536,3606	0,20	307,2721297
5	0,172346994	1509,7597	0,40	603,9038672
6	0,143747699	1259,2298	0,60	755,5379058
7	0,102742522	900,02449	0,85	765,0208171
8	0,063133565	553,05003	1,05	580,7025295
9	0,033355997	292,19853	1,25	365,2481628
10	0,015128882	132,529	1,36	180,2394435
11	0,005875848	51,472426	1,44	74,12029284
12	0,001948262	17,066771	1,51	25,77082467
13	0,000549655	4,814976	1,55	7,463212795
14	0,000131487	1,1518242	1,60	1,842918658
15	2,6575E-05	0,2327971	1,64	0,381787241
16	4,52172E-06	0,0396103	1,69	0,066941359
17	6,45381E-07	0,0056535	1,72	0,009724089
18	7,6996E-08	0,0006745	1,76	0,001187093
19	7,65128E-09	6,703E-05	1,79	0,000119975
20	6,31121E-10	5,529E-06	1,80	9,95152E-06
Vuosituotto				3792,664062

**Tuulijakauma:** Tuulen nopeuksien vuotuinen jakauma. Ilmaisee tuulen nopeuden todennäköisyyden.

**Tunnit:** Todennäköisyyden perusteella laskettu arvo, kuinka monta tuntia ko. tuulen nopeus ilmenee vuoden aikana. 1 a = 8760 h.

**Tuulivoimalan teho:** tarkasteltavana olevan tuulivoimalan teho ko. tuulen nopeudella

**Tuotto:** Tuulivoimalan vuosituotto ko. tuulen nopeudella.

**Vuosituotto:** Jokaiselle tuulen nopeudelle laskettujen tuottojen summa

## LIITE 2

**VUOSITUOTANTOLASKELMA: ILMARI 10KW**

Tuulen nopeus [m/s]	Tuulijakauma [%]	Tunnit [h]	Voimalan teho [kW]	Voimalan tuotto [kWh]
1	0,039453103	345,60918	0	0
2	0,0969318	849,12257	0	0
3	0,147883006	1295,4551	0,2	259,0910257
4	0,175383636	1536,3606	0,8	1229,088519
5	0,172346994	1509,7597	1,5	2264,639502
6	0,143747699	1259,2298	2,5	3148,074607
7	0,102742522	900,02449	5,3	4770,129801
8	0,063133565	553,05003	8,2	4535,01023
9	0,033355997	292,19853	9,8	2863,545597
10	0,015128882	132,529	10,2	1351,795827
11	0,005875848	51,472426	10,2	525,018741
12	0,001948262	17,066771	10,2	174,0810673
13	0,000549655	4,814976	10,2	49,11275517
14	0,000131487	1,1518242	10,2	11,74860645
15	2,6575E-05	0,2327971	10,2	2,374530402
16	4,52172E-06	0,0396103	10,2	0,404024767
17	6,45381E-07	0,0056535	10,2	0,057666107
18	7,6996E-08	0,0006745	10,2	0,006879744
19	7,65128E-09	6,703E-05	10,2	0,000683657
20	6,31121E-10	5,529E-06	10,2	5,63919E-05
Vuosituotto				21184,18012

**Tuulijakauma:** Tuulen nopeuksien vuotuinen jakauma. Ilmaisee tuulen nopeuden todennäköisyyden.

**Tunnit:** Todennäköisyyden perusteella laskettu arvo, kuinka monta tuntia ko. tuulen nopeus ilmenee vuoden aikana. 1 a = 8760 h.

**Tuulivoimalan teho:** tarkasteltavana olevan tuulivoimalan teho ko. tuulen nopeudella

**Tuotto:** Tuulivoimalan vuosituotto ko. tuulen nopeudella.

**Vuosituotto:** Jokaiselle tuulen nopeudelle laskettujen tuottojen summa

## WINDSPOT 1,5KW

TEHO	1.5 Kw @ 250 rpm
ROOTTORIN HALKAISJA	4.05m (13.4ft)
KÄYNNISTYMINEN	3 m/s (6.7 mph)
NIMELLISTEHON TUOTTO	12 m/s (26.8 mph)
PAINO	155 kg (341 lb)
PITUUS	2.9 m (9.5 ft)
ARVIOITU VUOSITUOTANTO	2383-4850 Kwh at 5-7 m/s (11.2-15.7 mph)
CO2 SÄÄSTÖ	1550-3150 kg (3400-6950 lb)
TUULIVOIMALAN TYPPI	Vaaka-akselinen, tuulta vasten suuntautuva
GENERAATTORI	Synkronoitu, kestopäinnotettu; 3 vaihetta; 24-48-110-220 V at 50/60 Hz
SUUNNAN OHJAUS	Passiivinen ohjaus peräsimellä
TEHON HALLINTA	Passiivinen keskipäinnotus perustuva lavankääntö, varustettuna iskunvaimentimilla (Patentoitu malli)
VÄLITYS	Vaihteeton suoravälitys
JARRUTUS	Sähköinen
OHJAIN	Akkulataus, verkkosyöttö, veden pumppaus tai hybridijärjestelmä
SIIVET	Lasikuituvahvisteinen polyesteriresiini.
INVERTTERI	Tehokkuus = 95%, MPPT algoritmi
ÄÄNI	37 dB(A) mitattuna 60 m etäisyydeltä tuulen nopeudella 8 m/s (BWEA standardi)
ANTICORROSION PROTECTION	Suljettu generaattorin rakenne + galvanoitu+ UV suojamaali
MASTO	12, 18 tai 24 m; saatavana useita vaihtoehtoja
SUUNNITTELUSTANDARDI	IEC61400-2 pientuulivoimaloiden standardin mukaisesti

(WindSpot 1,5)



## POWER-ONE PVI-4000 WIND INTERFACE

PARAMETER	PVI-4000-WIND-INTERFACE
<b>Input Side</b>	
AC Input Range (No damage) ( $V_{acd,min} \dots V_{acd,max}$ )	0...400 V
Operating AC Input Range ( $V_{acmin} \dots V_{acmax}$ )	35...400 V
Operating Frequency Range ( $f_{min} \dots f_{max}$ )	0...600 Hz <sup>(1)</sup>
Maximum AC Input Current ( $I_{dcmax}$ )	16.6 A
Maximum Current in Main Brake Resistor ( $I_{MBR,max}$ )	30 A
Voltage Range in Main Brake Resistor ( $V_{MBRmin} \dots V_{MBRmax}$ )	0...600 V
Type of Inputs Connection	Screw terminal block Cable Gland
<b>Input protection</b>	
Input Over Voltage Portection - Varistor	3
Input Fuse Size	3 x 6 A
<b>Output Side</b>	
Maximum Output Power ( $P_{dcmax}$ )	4.0 kW
Output Voltage Range ( $V_{dc,min} \dots V_{dc,max}$ )	0...600 V
Maximum Output Current ( $I_{dc,max}$ )	20 A
Type of Output Connection	Screw terminal block Cable Gland
<b>Output Protection</b>	
Output Over Voltage	Yes
<b>Operating Performance</b>	
Peak Efficiency ( $\eta_{peak}$ )	99.4 %
Stand-by Consumption	< 3 W
<b>Communication</b>	
Local Monitoring System	-
Remote Control	-
User Interface	-
<b>Environmental</b>	
Ambient Temperature Range	-25...+55°C / -13...131°F
Relative Humidity	< 100% Condensing
Noise Emission	< 40 dB(A)
Maximum Operating Altitude without Derating	2000 m / 6560 ft
<b>Physical</b>	
Environmental Protection Rating	IP 65
Cooling	Natural
Dimension (H x W x D)	252 mm x 287 mm x 85.7 mm / 9.9" x 11.3" x 3.37"
Weight	1.8 kg / 4.0 lb
Mounting System	Wall Bracket
<b>Safety</b>	
Marking	CE
Safety and EMC standard	EN 50178, EN 61000-6-2, EN 61000-6-4

1. The frequency is for isolated driving source. When wind tach, the available frequency range in 5...200Hz. The inverter also provides a +5V interval pull up max. 0,5mA.

(Power-One PVI-4000 Wind Interface, s. 3)

# POWER-ONE AURORA PVI-3.6-TL-OUTD-W

PARAMETER	PVI-3.0-TL-OUTD-W	PVI-3.6-TL-OUTD-W	PVI-4.2-TL-OUTD-W
Input Side			
Maximum Absolute DC Input Voltage ( $V_{(max,abs)}$ )	600 V		
Operating DC Input Voltage Range ( $V_{dcmin}...V_{dcmax}$ )	50...580 V		
DC Input Voltage Range at Full Power ( $V_{fpmin}...V_{fpmax}$ )	160...530 V	120...530 V	140...530 V
Dc Power Limitation	Linear Derating From MAX to Null [530V≤Vdc≤580V]		
Maximum DC Input Current ( $I_{dcmax}$ )	20 A	32 A	32 A
Maximum Input Short Circuit Current	25 A	40 A	40 A
DC Connection Type	Screw Terminal Block Cable Glands		
Input Protection			
Reverse Polarity Protection	No		
Input Over Voltage Protection - Varistor	4		
Generator Isolation Control	According to local standard		
Output Side			
AC Grid Connection	Single phase		
Rated AC Power ( $P_{acr}@cos\varphi=1$ )	3000 W	3600 W	4200 W
Maximum AC Output Power ( $P_{acmax}@cos\varphi=1$ )	3300 W <sup>(4)</sup>	4000 W <sup>(5)</sup>	4600 W <sup>(6)</sup>
Maximum Apparent Power ( $S_{max}$ )	3330 VA	4000 VA	4670 VA
Rated Grid AC Voltage ( $V_{ac,r}$ )	230 V		
AC Voltage Range	180...264 V <sup>(1)</sup>		
Maximum Output AC Current ( $I_{ac,max}$ )	14.5 A	17.2 A <sup>(2)</sup>	20 A
Contributory fault current	16.0 A	19.0 A	22.0 A
Rated Frequency ( $f_r$ )	50 Hz / 60 Hz		
Frequency Range ( $f_{min}...f_{max}$ )	47...53 Hz / 57...63 Hz <sup>(2)</sup>		
Nominal Power Factor and adjustable range	> 0.995, adj. ± 0.9 with $P_{acr}=3.0$ kW	> 0.995, adj. ± 0.9 with $P_{acr}=3.6$ kW	> 0.995, adj. ± 0.9 with $P_{acr}=4.2$ kW
Total Harmonic Distortion	< 2%		
AC Connection Type	Screw Terminal Block Cable Glands		
Output Protection			
Anti-islanding protection	According to local standard		
Maximum AC Overcurrent Protection	16 A	19 A	22 A
Output Over Voltage Protection - Varistor	2 (L-N/L-PE)		
Operating Performance			
Maximum Efficiency ( $\eta_{max}$ )	96.8%		
Stand-by Consumption	< 8W		
Feed In Power Threshold	10.0 W		
Communication			
Wired Local Monitoring	PVI-USB-RS232_485 (opt.), PVI-DESKTOP (opt.)		
Remote Monitoring	PVI-AEC-EVO (opt.), AURORA LOGGER (opt.)		
Wireless Local Monitoring	PVI-DESKTOP (opt.) with PVI-RADIOMODULE (opt.)		
User Interface	16 characters x 2 lines LCD display		
Environmental			
Ambient Temperature Range	-25...+ 60°C/-13...140°F with derating above 50°C/122°F	-25...+ 60°C/-13...140°F with derating above 55°C/131°F	-25...+ 60°C/-13...140°F with derating above 50°C/122°F
Noise Emission	< 50 dB(A)		
Maximum Operating Altitude with Derating	2000 m / 6560 ft		
Physical			
Environmental Protection Rating	IP 65		
Cooling	Natural		
Dimension (H x W x D)	618mm x 325mm x 222mm / 24.3"x 12.8"x 8.7"		
Weight	17 kg / 37.4 lb		
Safety			
Isolation Level	Transformerless		
Marking	CE		
Safety and EMC standard	EN62109-1, EN62109-2, AS/NZS3100, AS/NZS 60950, EN61000-6-1, EN61000-6-3, EN61000-3-2, EN61000-3-3	EN62109-1, EN62109-2, AS/NZS3100, AS/NZS 60950, EN61000-6-1, EN61000-6-3, EN61000-3-11, EN61000-3-12	EN62109-1, EN62109-2, AS/NZS3100, AS/NZS 60950, EN61000-6-1, EN61000-6-3, EN61000-3-11, EN61000-3-12
Grid Standard	CEI 0-21, VDE 0126-1-1, VDE-AR-N 4105, G83/1, EN 50438 (not for all national appendices), RD1699, AS 4777, C10/11, IEC 61727, ABNT NBR 16149	CEI 0-21, VDE 0126-1-1, VDE-AR-N 4105, G83/1, G59/2, EN 50438 (not for all national appendices), RD1699, AS 4777, C10/11, IEC 61727, ABNT NBR 16149	CEI 0-21, VDE 0126-1-1, VDE-AR-N 4105, G59/2, EN 50438 (not for all national appendices), RD1699, AS 4777, C10/11, IEC 61727, ABNT NBR 16149
Available Products Variants			
Standard	PVI-3.0-TL-OUTD-W	PVI-3.6-TL-OUTD-W	PVI-4.2-TL-OUTD-W

1. The AC voltage range may vary depending on specific country grid standard

2. The Frequency range may vary depending on specific country grid standard

3. For UK, GB3/1 setting, maximum output current limited to 16A up to a maximum output power of 3.68kW.

4. Limited to 3000W for Germany

5. Limited to 3600W for Germany

6. Limited to 4200W for Germany

Remark: Features not specifically listed in the present data sheet are not included in the product

(Power-One Aurora PVI-3.0/3.6/4.2-W, s. 3)

## VUOSITUOTANTOLASKELMA: WINDSPOT 3,5KW

Tuulen nopeus [m/s]	Tuulijakauma [%]	Tunnit [h]	Voimalan teho [kW]	Voimalan tuotto [kWh]
1	0,039453103	345,60918	0	0
2	0,0969318	849,12257	0,01	8,49122572
3	0,147883006	1295,4551	0,09	116,5909616
4	0,175383636	1536,3606	0,20	307,2721297
5	0,172346994	1509,7597	0,40	603,9038672
6	0,143747699	1259,2298	0,70	881,46089
7	0,102742522	900,02449	1,10	990,0269397
8	0,063133565	553,05003	1,55	857,2275435
9	0,033355997	292,19853	2,00	584,3970605
10	0,015128882	132,529	2,50	331,3225065
11	0,005875848	51,472426	3,10	159,5645193
12	0,001948262	17,066771	3,50	59,73369956
13	0,000549655	4,814976	3,60	17,33391359
14	0,000131487	1,1518242	3,63	4,181121706
15	2,6575E-05	0,2327971	3,65	0,849709409
16	4,52172E-06	0,0396103	3,68	0,145765798
17	6,45381E-07	0,0056535	3,72	0,021031168
18	7,6996E-08	0,0006745	3,76	0,002536063
19	7,65128E-09	6,703E-05	3,78	0,000253355
20	6,31121E-10	5,529E-06	3,80	2,10088E-05
Vuosituotto				4922,525696

**Tuulijakauma:** Tuulen nopeuksien vuotuinen jakauma. Ilmaisee tuulen nopeuden todennäköisyyden.

**Tunnit:** Todennäköisyyden perusteella laskettu arvo, kuinka monta tuntia ko. tuulen nopeus ilmenee vuoden aikana. 1 a = 8760 h.

**Tuulivoimalan teho:** tarkasteltavana olevan tuulivoimalan teho ko. tuulen nopeudella

**Tuotto:** Tuulivoimalan vuosituotto ko. tuulen nopeudella.

**Vuosituotto:** Jokaiselle tuulen nopeudelle laskettujen tuottojen summa